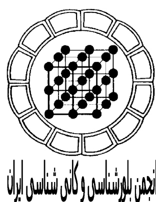
مجله
بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی‌ام، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۱، از صفحهٔ ۴۳ تا ۵۶



منطقه اکتشافی طلا- منگنز فراگرمایی بیجورد، شمال بردسکن، خراسان رضوی: شواهدی از زمین‌شناسی، کانی‌سازی و زمین شیمی

حسین میری[1]، محمدحسن کریم‌پور[2*]، آزاده ملکزاده شفارودی[2]

1- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

2- گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱/۳۱، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۴/۲۲)

چکیده: منطقه اکتشافی بیجورد در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی، پهنه سبزوار و در ۴۰ کیلومتری شمال بردسکن واقع است. واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی – رسوبی کرتاسه (آندزیت، بازالت، ماسه سنگ تیره و کنگلومرا) هستند که واحد سینوگرانیت پورفیری در آن‌ها نفوذ کرده است. کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی کنترل ساختاری داشته و در طول گسلی با راستای N35E رخ داده و واحد سنگی آندزیتی را دچار دگرسانی کرده است. کانی‌سازی در این منطقه در دو بخش: ۱- کانی‌سازی طلا که بیشتر با دگرسانی سیلیسی و آرژیلی، همراه با پهنه گوسان دیده می‌شود و با دگرسانی پروپلیتی در بر گرفته شده است و ۲- کانی‌سازی منگنز در داخل واحد ماسه سنگ تیره رخ داده است. کانی‌شناسی منطقه ساده بوده و دارای کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت، پیرولوسیت، برونیت و کانی‌های ثانویه گوتیت، هماتیت،کوولیت، کالکوزیت، مالاکیت و انواع کانی‌های منگنزدار است. کوارتز و کانی‌های رسی و کمتر کلسیت مهمترین کانی‌های باطله هستند. بیشینه مقدار طلا در منطقه بیجورد ۱٫۴ گرم بر تن و کمترین مقدار آن ۰٫۰۱ گرم برتن اندازه‌گیری شده است. افزون بر طلا، مقدار مس بین ۸۸ گرم برتن تا ۲٫۲ درصد، آرسنیک ۲۱ تا ۱۰۰ گرم بر تن و روی ۱۶۲ تا حدود ۵۰۰ گرم بر تن است. براساس شواهد زمین ساختی، سنگ میزبان، کنترل ساختاری، نوع دگرسانی و نبود کانی‌های شاخص سولفید بالا و پایین، منطقه اکتشافی بیجورد به احتمال بسیار یک ذخیره فراگرمایی سولفید متوسط است.

واژه‌های کلیدی: *زمین‌شناسی؛ کانی‌سازی؛ زمین شیمی؛ فراگرمایی سولفید متوسط؛ بیجورد؛ بردسکن.*

مقدمه

ذخایر طلای فراگرمایی، از نظر تعداد و حجم ذخیره، بزرگترین و فراوان‌ترین ذخایر طلای کشور هستند. براساس مدل‌های زمین‌شناسی و زمین دینامیکی، کمربند تتیس پتانسیل بالایی برای کانه‌زایی‌های فلزی به ویژه کانسارهای فراگرمایی- پورفیری طلا و مس دارد [۲،۱] . ایران به علت قرارگیری در کمربند کوه‌زایی تتیس، میزبان ذخایری از طلا و مس است. عمده این ذخایر در ارتباط با فعالیت ماگمایی وابسته با کمان‌های آتشفشانی آهکی قلیایی تشکیل شده‌اند. زیر پهنه سبزوار به عنوان بخشی از کمربند تتیس [۳-۵]. تعدادی از کانسارهای طلا از جمله ارغش [۶] و سه بندون [۷] را در خود جای داده است. نخستین پی‌جویی‌های فلزات پایه در زیر پهنه سبزوار بین سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۷۶ توسط شرکت چینی جیانگزی [۸] و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد. این بررسی‌های سبب شناسایی چندین ناهنجاری شده است.

منطقه اکتشافی طلا-منگنز فراگرمایی بیجورد در ۳۰ کیلومتری شمال بردسکن و در ۱۰ کیلومتری روستای بیجورد

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۳۸۸۰۴۰۵۱، پست الکترونیکی: Karimpur@um.ac.ir

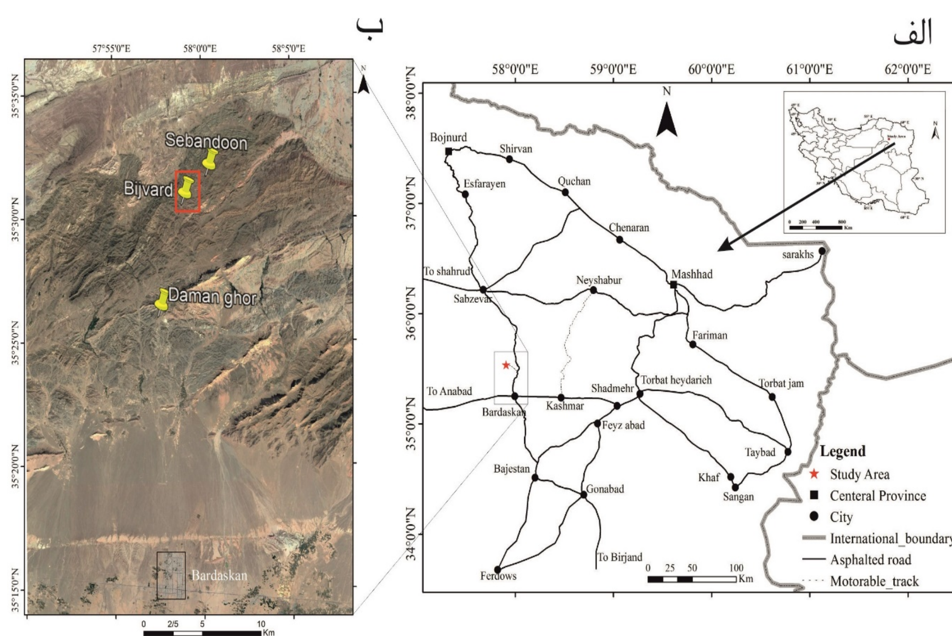
[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.4.8]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.43]

قرار دارد (شکل ۱ الف). گستره مورد بررسی به مساحت ۰٫۵ کیلومتر مربع به صورت یک چارضلعی، بین طول‌های جغرافیایی″۴۴ ′۵۸ °۵۷ تا ″۱۰ ′۵۹ °۵۷ و عرض‌های جغرافیایی ″۲۴ ′۳۰ °۳۵ تا ″۴۰ ′۳۰ °۳۵ قرار دارد. این منطقه براساس تقسیمات پهنه‌های ساختاری [۹]، در پهنه ایران مرکزی، زیر پهنه سبزوار و ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ ششتمد [۱۰] واقع است. بررسی‌های تکمیلی در منطقه مورد بررسی توسط شرکت معدنی ژرف پویان کوهیار فجر در سال ۱۳۹۸ انجام شد که منجر به حفر ترانشه، حفاری پودری و تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۵۰۰۰ شده است. منطقه شمال بردسکن پتانسیل قابل توجهی برای کانی‌سازی طلای فراگرمایی دارد و کانسارهای طلای فراگرمایی سه بندون [۷]، کبودان [۱۱]، دامن قر [۱۲] و گستره مورد بررسی در این منطقه واقع هستند (شکل ۱ ب).

در منطقه بیجورد، کانی‌سازی در دو بخش: ۱) پهنه گوسان همراه با ناهنجاری طلا و کانی‌سازی منگنز رخ داده است. هدف از این پژوهش تهیه نقشه زمین‌شناسی و دگرسانی-کانی‌سازی، بررسی مجموعه کانیایی، تفسیر داده‌های زمین‌شیمیایی با توجه به دگرسانی و کانی‌سازی و تعیین مدل کانی‌سازی با تاکید بر بخش پهنه گوسان همراه با ناهنجاری طلا (بخش اول) در منطقه بیجورد بود. از این رو، ویژگی‌های زمین شیمیایی کانی‌سازی منگنز بررسی نشد. بی شک، انجام این بررسی‌ها گامی مهم برای شناسایی و پی جویی ذخایر در منطقه مستعد شمال بردسکن و زیر پهنه سبزوار است.

زمین شناسی

منطقه اکتشافی بیجورد براساس تقسیمات پهنه‌های ساختاری ایران [۹] در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی و زیر پهنه‌سبزوار واقع است. این منطقه بخشی از افیولیت‌های سبزوار با سن کرتاسه پسین است. توالی آتشفشانی-رسوبی پهنه سبزوار در یک محیط کششی کافت (ریفت) پشت کمانی طی کرتاسه پسین تشکیل شده است [۱۳]. از آنجا که پهنه سبزوار با افیولیت آمیزه‌های کرتاسه- پالئوسن شناخته می‌شود، مجموعه واحدهای سنگی پهنه سبزوار به دو گروه ۱) سنگ‌های تشکیل دهنده سری آمیزه افیولیت شامل و طیفی از سنگ‌های ابر بازی تا بازی و ۲) سنگ‌های غیر افیولیتی شامل سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت، آذرآواری‌های سبز رنگ و آگلومرا)، آتشفشانی-رسوبی (توف‌های سبز و کرم رنگ) و رسوبی (واحدهای آهکی و کنگلومرا) که ارتباط زایشی با سنگ‌های افیولیتی ندارند [۱۴،۱۰] تقسیم می‌شود. همچنین فعالیت‌های ماگمایی با سن ائوسن و پس از آن در منطقه‌های طلای فراگرمایی شمال بردسکن دیده شده و با نفوذ توده‌های نیمه عمیق و دایک‌ها در سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه مشخص می‌شوند. افیولیت‌های سبزوار دارای کانی‌سازی کرومیت و عناصر گروه پلاتین هستند و در سنگ‌های آتشفشانی پهنه سبزوار، کانی‌سازی طلا، مس، مس-طلا، سرب و روی، آهن و غیره بیشتر از کانی‌سازی نوع رگه‌ای دیده می‌شود [۱۵].



شکل ۱ الف) موقعیت منطقه مورد بررسی بیجورد در ایران و راه های دسترسی به آن، ب) موقعیت منطقه‌های بیجورد، طلای سه بندون و دامن‌قر در شمال بردسکن.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.4.8]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.43]

زیرپهنه سبزوار به دلیل وجود افیولیت‌ها، توالی آتشفشانی- رسوبی و توده‌های نفوذی نیمه عمیق جوانتر که گاهی رخنمون آنها دیده می‌شود، محیط مناسبی برای تشکیل کانسارهای کرومیت، منگنز، مس، طلا و غیره است. از جمله کانی‌سازی های موجود در این پهنه می‌توان به کرومیت سبزوار [۱۶]، عناصر گروه پلاتین موجود در کرومیت‌ها [۱۷]، کانسار طلای سه بندون [۷]، فیروزه نیشابور [۱۸]، مس گل‌چشمه [۱۹]، منگنز ذاکری [۲۰]، منگنز استاج [۲۱]، آنتیموان ارغش [۲۲]، منطقه اکتشافی مس- طلا پورفیری جلمبادان [۲۳]، مس- طلای سولفید توده‌ای چشمه زاغ [۲۴] و مگنتیت-آپاتیت خانلق [۲۵] اشاره کرد.

کانی‌سازی منگنز در منطقه مورد بررسی در راستای گسل و همراه با سنگ میزبان ماسه سنگی تیره رخ داده است. در این منطقه، کانی‌سازی منگنز افزون بر واحد ماسه سنگی تیره در واحد کنگلومرایی نیز دیده می‌شود. سیمان کنگلومرا از جنس اکسیدآهن است و کانی‌های پیرولوسیت و براونیت در این پهنه تشکیل شده‌اند. کانی‌های پیرولوسیت و براونیت با بافت‌های رگه- رگچه‌ای، توده‌ای، داربستی و سوزنی دیده می‌شوند.

قدیمی‌ترین واحد سنگی این منطقه، سنگ‌های فرابازی با سن کرتاسه پیشین از جنس پریدوتیت سرپانتینی شده و لرزولیت است. واحدهای سنگی کرتاسه پسین بیشتر در ورقه ششتمد رخنمون دارند. بخش قدیمی‌تر شامل دیاباز و دیاباز- بازالت بوده و بخش رسوبی آن شامل آهک‌های سفید رنگ است. قسمت جوان‌تر شامل آندزیت، تراکی آندزیت و تراکیت است. جوان‌ترین واحد سنگی این منطقه نفوذی‌های دیوریتی، مونزونیتی و سینوگرانیتی هستند که درون واحدهای آتشفشانی کرتاسه پسین قرار دارند [۱۰].

سنگ‌های غالب منطقه اکتشافی بیجورد، سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی سری افیولیتی با سن کرتاسه پسین هستند. واحدسنگی آتشفشانی این منطقه ماهیت قلیایی تا آهکی قلیایی دارد که از جنس آندزیت و توف سنگی آندزیتی است [۱۰].

براساس بررسی‌های صحرایی و نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱،۲۰۰۰، واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد بررسی، از قدیم به جدید شامل مجموعه‌ای از گدازه‌های آتشفشانی با ترکیب بازالتی و آندزیتی، نهشته‌های آذرآواری از جنس توف سنگی‌آندزیتی و واحدهای رسوبی از جنس ماسه سنگ تیره و کنگلومرایی هستند. فعالیت ماگمایی پس از ائوسن با نفوذ توده نیمه‌عمیق سینوگرانیتی در واحدهای آتشفشانی–رسوبی کرتاسه پسین مشخص است. سرانجام رسوب‌های عهد حاضر جوان‌ترین واحد رخنمون یافته در منطقه هستند (شکل۲).

واحد بازالتی: قدیمی‌ترین واحد سنگی منطقه واحد بازالتی است که در شمال غربی منطقه رخنمون دارد. این واحد دستخوش دگرسانی پروپلیتی شده است و به رنگ سبز تا سیاه دیده می‌شود. بافت این واحد سنگی میان دانه‌ای و گلومروپورفیری است. پلاژیوکلاز کانی اصلی تشکیل دهنده سنگ است و در قسمت درشت بلورها فراوانی بالای ۳۵ درصد دارد و اندازه بلورهای آن گاهی به نیم میلی‌متر می‌رسد. درشت بلورهای کانی الیوین فراوانی حدود ۲ درصد دارند و اندازه بلورهای آن کمتر از ۰٫۲ میلی متر است. درشت بلورهای پیروکسن نیز به مقدار کمتر از ۱ درصد دیده شدند و اندازه بلورها کمتر از ۰٫۲ میلی‌متر است. در این واحد سنگی، کم کانی‌سازی منگنز بسیار رخ داده است (شکل‌های ۳ الف و ب).

واحد اندزیتی: این واحد سنگی در قسمت مرکزی منطقه واقع است. میزبان اصلی کانی‌سازی طلا این واحد سنگی بوده و گسل اصلی که باعث کانی‌سازی شده، مرز بین این واحد سنگی با واحد ماسه سنگی تیره است. بافت این واحد سنگی پورفیری تا گلومروپورفیری است. درشت بلورها از جنس پلاژیوکلاز، کوارتز و به ندرت پیروکسن و هورنبلند هستند. فراوانی پلاژیوکلاز به بیش از ۱۰ درصد می‌رسد و اندازه بلورهای آن حدود ۱ میلی‌متر است. کوارتز فراوانی کمتر از یک درصد دارد و اندازه بلورهای آن در حدود ۰٫۵ میلی‌متر است. دگرسانی اصلی رخ داده در این واحد سنگی آرژیلی است و پهنه گوسان گسترده‌ای در این واحد دیده می‌شود. بیشتر ترانشه‌ها و حفاری‌ها در این واحد سنگی حفر شده است. افزون بر دگرسانی آرژیلی، دگرسانی‌های سیلیسی و پروپلیتی نیز رخ داده است (شکل‌های ۳ پ و ت).

واحد توف سنگی آندزیتی: این واحد سنگی در قسمت شرقی منطقه قرار دارد و از شمال تا جنوب گسترش یافته است. در این واحد، بلورهای از جنس پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی و کوارتز دیده می‌شود. در این واحد، کانی‌سازی بسیار کم رخ داده و دگرسانی رخ داده در این واحد سنگی سیلیسی و پروپلیتی است.

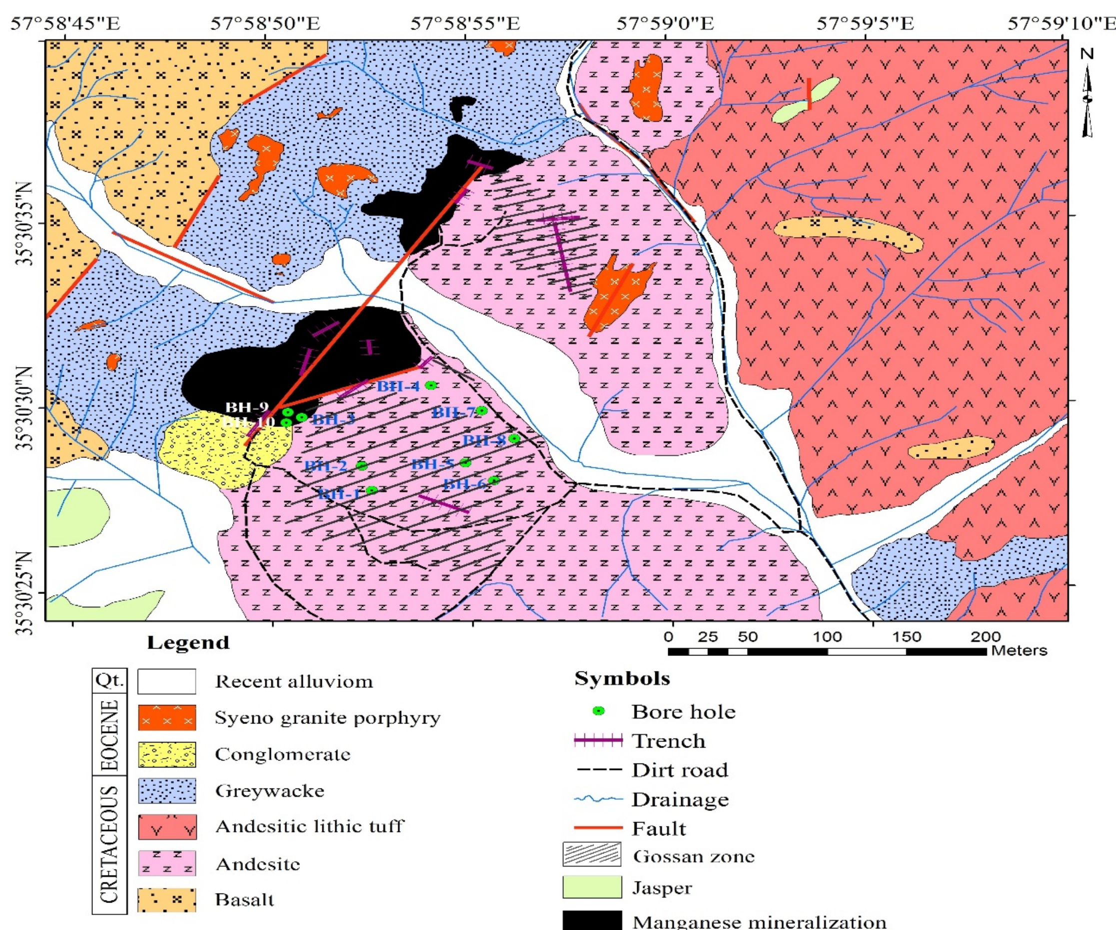
[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.4.8]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.43]

واحد ماسه سنگی تیره: این واحد سنگی از شمال تا غرب منطقه و در بخش جنوب شرقی گسترش دارد. مرز این واحد با واحدهای آتشفشانی گسلی است و به صورت همشیب بر واحدهای آتشفشانی قرار دارد. این واحد دارای ضخامت ۱۶۰ متری و راستای شمال شرقی - جنوب غربی است و به سمت جنوب شرقی شیب دارد. درون این واحد سنگی، سنگواره اکینوئید، خار آن و سایر خرده‌های سنگواره‌ای دیده می‌شوند. این واحد سنگی میزبان کانی‌سازی منگنز است (شکل‌های ۳ ث و ج).

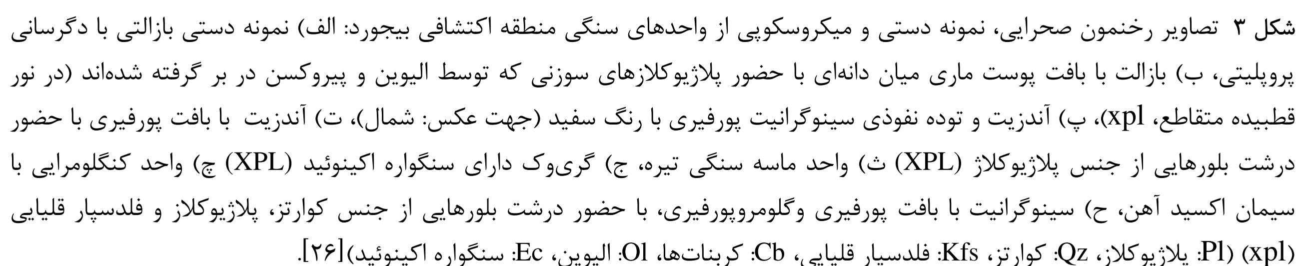
واحد کنگلومرایی: این واحد سنگی در کنار واحد ماسه سنگی تیره قرار دارد و دارای ضخامتی کمتر از ۱۰۰ متر است. قطعه-های تشکیل دهنده کنگلومرایی بیشتر بازالتی و آندزیتی و کمتر ماسه سنگی تیره دارای سنگواره هستند که نشان دهنده درون سازندی بودن این واحدسنگی است. سیمان این واحد از جنس اکسیدآهن و کربنات است و قطعه‌های آتشفشانی این واحد دستخوش دگرسانی پروپلتی شده‌اند. در این واحد سنگی، کانی‌سازی منگنز رخ داده است (شکل ۳ چ).

توده نفوذی سینوگرانیتی: فعالیت ماگمایی پس از ائوسن در منطقه بیجورد با نفوذ توده نیمه‌عمیق سینوگرانیتی در واحدهای آتشفشانی–رسوبی کرتاسه مشخص می‌شود. بلورهای تشکیل دهنده این واحد از جنس فلدسپار قلیایی، کوارتز، پلاژیوکلاز و به ندرت بیوتیت و پیروکسن است. فلدسپار قلیایی به عنوان فراوان‌ترین بلور حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد فراوانی دارد و اندازه بلورهای آن به بیش از ۱ میلی‌متر می‌رسد. کوارتز کانی فراوان دیگر با مقدار حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد است و اندازه درشت بلورهای آن به بیش از ۲ میلی‌متر می‌رسد. پلاژیوکلاز به نسبت فراوانی کمتری دارد و مقدار آن کمتر از ۵ درصد بوده و اندازه بلورهای آن حدود ۱ میلی متر است. این واحد سنگی در بخش مرکزی منطقه رخنمون دارد و دستخوش دگرسانی-های سیلیسی و پروپلیتی شده است (شکل ۳ ح).

رسوب‌های عهد حاضر: این واحد در سراسر منطقه گسترش دارد و دارای قطعه‌های با اندازه مختلف است.



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی-کانی‌سازی و محل گمانه‌ها در منطقه اکتشافی بیجورد با مقیاس ۱,۲۰۰۰.



شکل ۳ تصاویر رخنمون صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی از واحدهای سنگی منطقه اکتشافی بیجورد: الف) نمونه دستی بازالتی با دگرسانی پروپلیتی، ب) بازالت با بافت پوست ماری میان دانه‌ای با حضور پلاژیوکلازهای سوزنی که توسط الیوین و پیروکسن در بر گرفته شده‌اند (در نور قطبیده متقاطع، xpl)، پ) آندزیت و توده نفوذی سینوگرانیت پورفیری با رنگ سفید (جهت عکس: شمال)، ت) آندزیت با بافت پورفیری با حضور درشت بلورهایی از جنس پلاژیوکلاژ (XPL) ث) واحد ماسه سنگی تیره، ج) گری‌وک دارای سنگواره اکینوئید (XPL) چ) واحد کنگلومرایی با سیمان اکسید آهن، ح) سینوگرانیت با بافت پورفیری وگلومروپورفیری، با حضور درشت بلورهایی از جنس کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپار قلیایی (xpl) (Pl: پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز، Kfs: فلدسپار قلیایی، Cb: کربنات‌ها، Ol: الیوین، Ec: سنگواره اکینوئید)[۲۶].

روش بررسی

این پژوهش در دو بخش بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. نخست، برداشت‌ها و اندازه‌گیری‌های صحرایی بر رگه کانی‌سازی صورت گرفت. بیش از ۷۰ نمونه سنگی از منطقه مورد بررسی برداشت شد، که از میان آنها ،۴۰ مقطع نازک برای بررسی‌های سنگ‌نگاری و ۱۴ قطعه صیقلی و مقطع نازک صیقلی برای بررسی کانی‌های فلزی تهیه شدند. پس از بررسی مقاطع، نقشه‌های زمین‌شناسی-کانی‌سازی و دگرسانی-کانی‌سازی منطقه مورد بررسی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ با نرم افزار Arc GIS تهیه شد. همچنین به منظور پی‌جویی‌های زمین شیمیایی، تعداد ۳۰ نمونه خرده‌سنگی از ترانشه‌ها، رخنمون‌های سطحی و گمانه‌ها برداشت شد. از میان آنها، ۴ نمونه برای پراش پرتوی ایکس (XRD) از پهنه دگرسانی آرژیلی و پهنه کانی‌سازی منگنز انتخاب شد تا کانی‌شناسی منطقه تعیین گردد. همچنین از پهنه آرژیلی با پهنه گوسان گسترده، تعداد ۸ نمونه (۴ نمونه سطحی با نام اختصاری Ch و ۴ نمونه از گمانه‌ها پودری با نام اختصاری G از اعماق مختلف برای تجزیه طلا به روش عیارسنجی گرمایی و عناصر اقتصادی مهم به روش طیف‌سنجی نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی I (CP-OES) انتخاب شده و به شرکت زرآزما ارسال شدند. پیشتر در این منطقه، مالک معدن در شرکت تحقیقات کانی‌شناسی و زمین‌شناسی کانپژوه ۱۶ نمونه سطحی با نام‌های

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.4.8]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.43]

اختصاری TRN...60 و یک نمونه از گمانه با نام اختصاری G1 از عمق ۳۶ تا ۳۹ متر را برای طلا به روش تیزاب سلطانی تجزیه کرد. همچنین افزون بر این تجزیه‌ها، تعداد ۱۵ نمونه خرده‌سنگی برداشت شده از سطح نام اختصاری Ksb برای طلا به روش عیارسنجی گرمایی با در گروه صنعتی معدنی زرمهر مارلیک تجزیه شدند. در این پژوهش از نتایج همه تجزیه‌های انجام شده توسط گروه‌های مختلف استفاده شد و نقشه زمین-شیمی لازم تهیه و نتایج تفسیر گرید.

دگرسانی وکانی‌سازی

دگرسانی‌های گرمابی در منطقه‌ی طلای بیجورد گسترش بسیاری دارند و همه واحدهای سنگی دستخوش آنها شدند. واحدهای دگرسان شده به راحتی از واحدهای آتشفشانی میزبان قابل تشخیص نیستند و دگرسانی بیشتر در واحد آتشفشانی آندزیتی و بازالتی رخ داده است. شدت و نوع دگرسانی‌ها با توجه به جنس سنگ میزبان و فاصله از مرکز دگرسانی متفاوت بوده و شامل انواع سیلیسی، آرژیلی، ژاسپروئید و پروپلیتی است (شکل ۴).

دگرسانی آرژیلی همراه با پهنه گوسان بخش اصلی دگرسانی را تشکیل داده و میزبان اصلی کانی‌سازی است. این دگرسانی در واحد سنگی آندزیتی رخ داده و شدت آن در راستای گسل بیشتر است. تشخیص این دگرسانی براساس رنگ زرد تا سفید و نوع کانی‌ها شامل کانی‌های رسی و کلسیت ممکن است (شکل ۵ الف). بیشتر حفاری‌های انجام شده در منطقه نیز منطبق بر این پهنه دگرسان شده است. در بخش‌های با دگرسانی آرژیلی شدید، تشخیص سنگ میزبان ممکن نیست. کانی‌های سولفیدی موجود در منطقه بیشتر در پهنه گوسان همراه با دگرسانی آرژیلی دیده می‌شود. دراین پهنه دگرسان، به مقدار کم کربنات‌ها نیز دیده می‌شوند که کانی‌سازی در آن‌ها رخ داده است. براساس بررسی‌های و یافته های تجزیه XRD، کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این دگرسانی،کانی‌های گروه اسمکتیت و کوارتز هستند و کانی فرعی کلسیت است.

دگرسانی ژاسپروئید گسترش کمتری دارد و بیشتر در راستای گسل دیده می‌شود و به مقدار کم کانی‌سازی در آن رخ داده است (شکل ۵ ب).

دگرسانی پروپیلیتی گسترش قابل توجهی در واحد سنگی بازالتی دارد و به مقدار کمتر در واحد کنگلومرایی و آندزیتی نیز دیده می‌شود. بیشتر دگرسانی پروپیلیتی، از کانی کلریت تشکیل شده است و به مقدار کمتر اپیدوت دیده می‌شود.

در واحد کنگلومرایی، بیشتر دگرسانی پروپلیتی به صورت کانی کلریت و همراه با کربنات است. دگرسانی پروپیلیتی واحدهای آرژیلی و سیلیسی را در بر گرفته است و درشت بلورهای آمفیبول، پیروکسن، پلاژیوکلاز و الیوین بیشتر دچار دگرسانی پروپلیتی شده‌اند (شکل ۵ پ). کانی‌سازی منگنز در این پهنه دگرسان شده به مقدار کم دیده می‌شود.

کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی کنترل گسلی داشته و در طول گسلی با راستای N35E رخ داده است. پهنه کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی دارای عرض ۵ تا ۵۰ متر (با میانگین ۱۰ متر) و طول ۲۰۰ متر است. راستای رگه کانی‌سازی N35E و شیب آن 50 SW است. این گسل در مرز بین واحدهای سنگی آندزیتی و ماسه سنگی تیره که میزبان کانی‌سازی هستند دیده می‌شود.

پهنه گوسان: دگرسانی آرژیلی موجود در منطقه مورد بررسی دارای پهنه گوسان قابل توجهی است. حفاری‌های پودری مربوط به عملیات اکتشافی نیز بر پهنه گوسان، همراه با دگرسانی آرژیلی انجام شده است. کانی‌سازی در منطقه بیجورد بر اثر واکنش سیال‌های گرمابی کانه‌ساز با سنگ میزبان‌های آتشفشانی-رسوبی رخ داده است. این واکنش‌ها منجر به ته‌نشست طلا در پهنه گوسان، همراه با دگرسانی آرژیلی شده است. بخش گوسان دارای کانی‌سازی‌های اولیه پیریت و کالکوپیریت است. کانی‌های ثانویه شامل کالکوزیت، کوولیت، مالاکیت، گوتیت و هماتیت همراه با باطله‌های کوارتز، کانی‌های رسی و کمتر کلسیت است (شکل های ۵ ت تا ج).

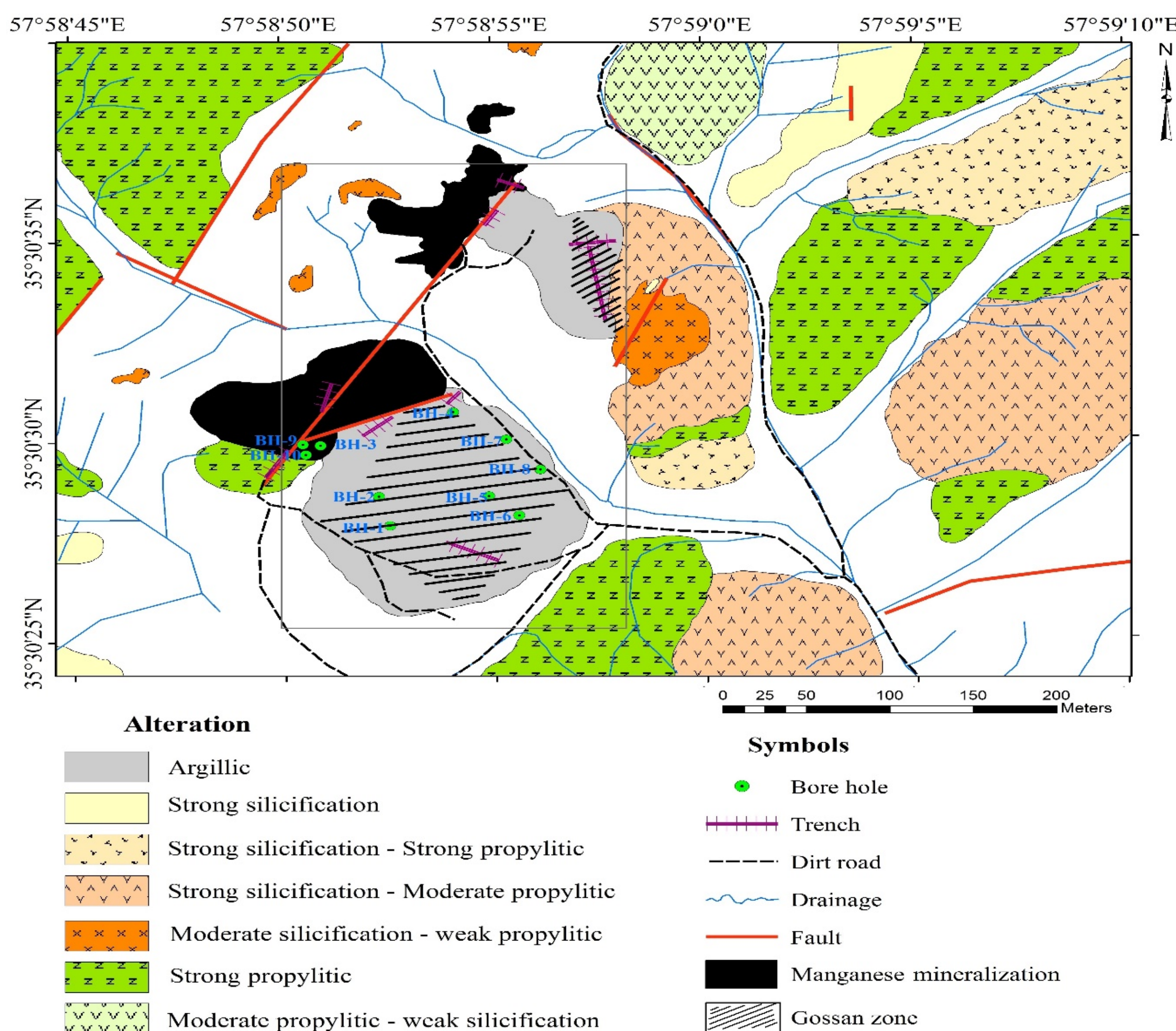
کانی‌شناسی و توالی همبرزایی

پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی موجود در منطقه است که در پهنه کانی‌سازی دیده می‌شود. این کانی در نمونه دستی با چشم غیر مسلح نیز نمایان است و مقدار آن در برخی نمونه‌ها به ۵ درصد نیز می‌رسد. این کانی دارای بافت پراکنده و بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار است. بیشتر بلورها اندازه

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.4.8]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.43]

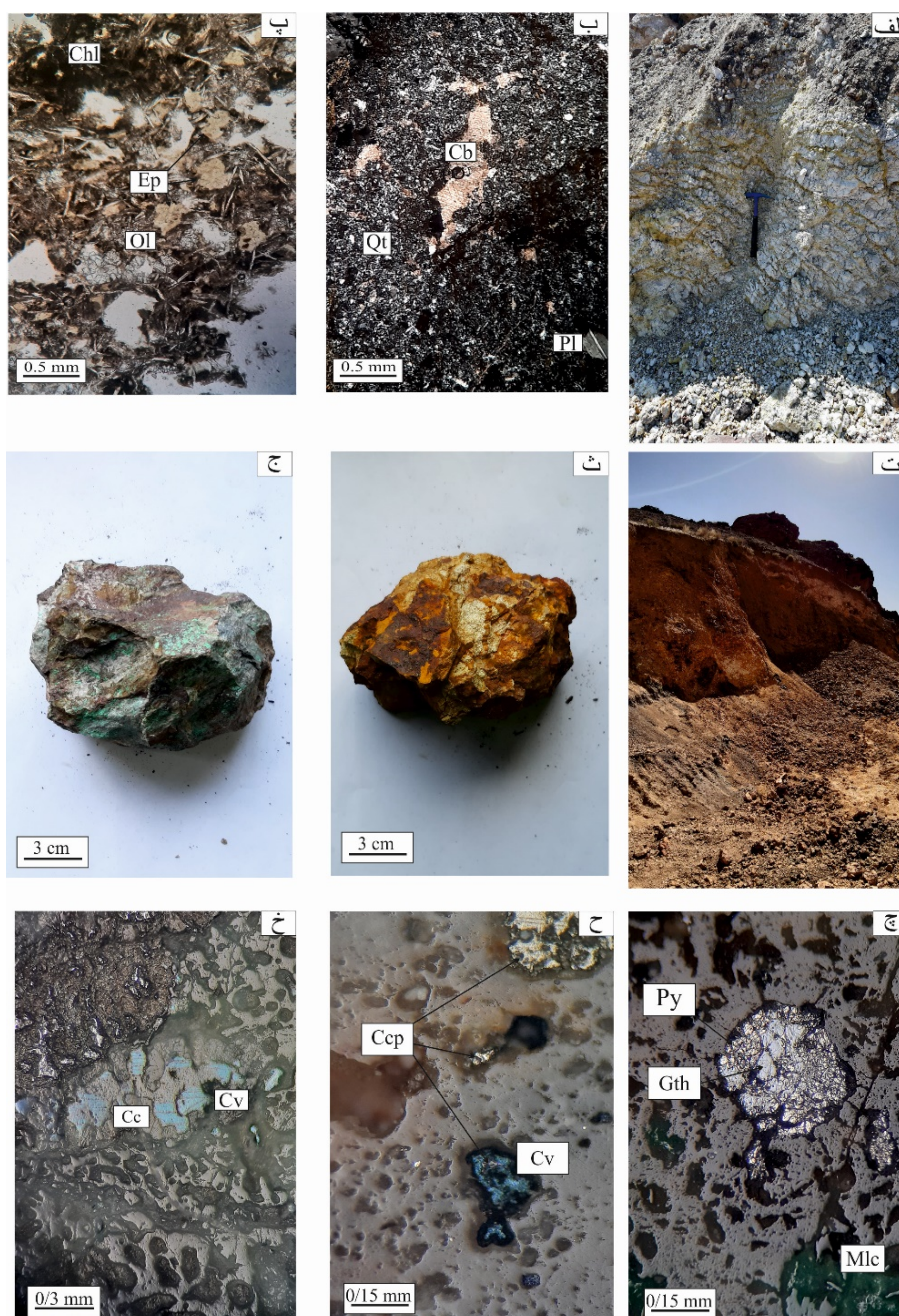
۰٫۰۵ تا ۰٫۵ میلیمتر و به ندرت تا ۱ میلیمتر دارند. اغلب این کانی بین ۵ تا ۷۰ درصد به گوتیت تبدیل شده است (شکل ۵ چ).

کالکوپیریت دومین کانی سولفیدی اولیه موجود در منطقه است که فراوانی کمتری نسبت به پیریت دارد. این کانی با بافت پراکنده در پهنه کانی‌سازی قرار دارد و مقدار آن به کمتر از ۱ درصد می‌رسد. این کانی به راحتی در نمونه دستی دیده نمی‌شود و با میکروسکوپ قابل شناسایی است. بلورهای این کانی دارای اندازه‌ی ۰٫۰۵ تا ۰٫۳ میلیمتر هستند و بین ۵ تا۱۰۰ درصد به مالاکیت، و کوولیت و کالکوزیت تبدیل شده‌اند (شکل ۵ ح).



شکل ۴ نقشه دگرسانی-کانی‌سازی و محل گمانه‌ها در منطقه اکتشافی بیجورد با مقیاس ۱٫۲۰۰۰.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.4.8]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.43]



شکل ۵ تصاویری از دگرسانی‌ها و کانه‌زایی منطقه اکتشافی بیجورد. الف) دگرسانی آرژیلی ب) تصویر میکروسکوپی (XPL) از دگرسانی سیلیسی همراه با کربنات، پ) تصویر میکروسکوپی (در نور قطبیده صفحه ای،PPL) از دگرسانی پروپلیتی که در آن پلاژیوکلاز به کلریت و الیوین و پیروکسن به اپیدوت تبدیل شده است ت) ترانشه اکتشافی از پهنه کانی‌سازی در منطقه (پهنه گوسان)، ث) نمونه دستی کانی‌سازی پهنه گوسان، ج) نمونه دستی کانی‌سازی مالاکیت، چ) کانی‌سازی پیریت با بافت پراکنده در نمونه برداشت شده از پهنه گوسان و تبدیل پیریت به گوتیت، کانی‌سازی ثانویه مالاکیت به صورت پراکنده، ح) کانی‌سازی کالکوپیریت با بافت پراکنده در نمونه برداشت شده از پهنه گوسان که از لبه در حال تبدیل شدن به کوولیت است و خ) کالکوپیریت تبدیل شده به کالکوزیت و کوولیت. (Qz: کوارتز ثانویه، Pl: پلاژیوکلاز، Cb: کربناتها، Chl: کلریت، Ep: اپیدوت، Ol: الیوین، Cc: کالکوزیت، Cv: کوولیت، Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Gth: گوتیت و Mlc: مالاکیت [۲۶]).

فراوان‌ترین کانی ثانویه موجود در گستره طلادار، اکسیدهای آهن (گوتیت و هماتیت) هستند که از تبدیل کانی‌های سولفیدی تشکیل شده‌اند. کانی‌های ثانویه مس چون مالاکیت، کالکوسیت و کوولیت به صورت پراکنده، رگچه‌ای و جانشینی دیده می‌شوند. در این بین، فراوانی مالاکیت و کالکوسیت بیشتر بوده و در نمونه دستی نمایان است (شکل ۵ خ). با توجه به نتایج بررسی‌های دگرسانی‌ها و کانه‌نگاری‌ها در منطقه اکتشافی بیجورد، روابط همبری و تقدم و تأخر تشکیل کانه‌ها را می‌توان در قالب شکل ۶ نشان داد.

زمین شیمی

نتایج تجزیه انجام شده در بخش پهنه گوسان منطقه در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. دیده می‌شود که مقدار طلا در منطقه مورد بررسی از ۰/۱ تا ۱/۴ گرم بر تن در تغییر است. طلا در منطقه به صورت آزاد دیده نشده است. مقدار طلا در نمونه‌های تجزیه شده در سطح زمین بیشتر از اعماق است (شکل ۷).

عیار مس در منطقه بین ۸۸ گرم بر تن تا ۲/۲ درصد در تغییر است. با توجه به وجود کانی‌هایی چونکالکوپیریت، کوولیت، کالکوزیت و مالاکیت چنین عیاری قابل پیش بینی بود.

عیار به دست آمده برای عنصر روی در منطقه در گستره ۱۶۲ تا ۴۹۵ گرم بر تن است. نمونه‌های سطحی عیار کمتری نسبت به نمونه‌های برداشت شده ازگمانه‌ها دارند.

مقدار سرب موجود در منطقه ۱۸ تا ۶۷ گرم بر تن به دست آمد. بیشترین مقدار سرب ۶۷ گرم برتن بوده که در نمونه‌های سطحی به دست آمده است و قابل توجه نیست.

آرسنیک در نمونه‌های تجزیه شده ۲۱ تا بیش از ۱۰۰ گرم بر تن است. برخلاف روی، مقدار آرسنیک در نمونه‌های سطحی بیشتر از نمونه‌های برداشت شده از گمانه است. کانی آرسنیک- داری دیده نشد.

نقره در این منطقه در گستره ۰/۲ تا۲/۲ گرم بر تن در تغییر است. بیشترین مقدار نقره ۲/۲ گرم بر تن است که در نمونه‌های سطحی به دست آمد. در این نمونه‌ها، مقدار مس بالا و مقدار مولیبدن و سرب پایین است.

عیار مولیبدن در این منطقه از ۰/۶ تا ۱۶ گرم بر تن در تغییر است. بیشترین مقدار مولیبدن در نمونه‌های برداشت شده از سطح به دست آمد همچنین، در نمونه‌های با مقدار مولیبدن بالا، مقدار سرب و آرسنیک نیز بالا و مقدار نقره پایین است. گوگرد دارای گستره وسیعی بوده و مقدار آن بین ۳۲۴ گرم بر تن تا حدود ۲/۵ درصد درتغییر است. مقدار گوگرد در نمونه- های برداشت شده از گمانه‌ها بیشتر است.

الف

Minerals	Hypogene (Early → Late)	Oxidized Zone
Pyrite		
Chalcopyrite		
Smectite		
Quartz		
Calcite		
Chlorite		
Epidote		
Geothite		
Hematite		
Chalcocite		
Covellite		
Malachite		

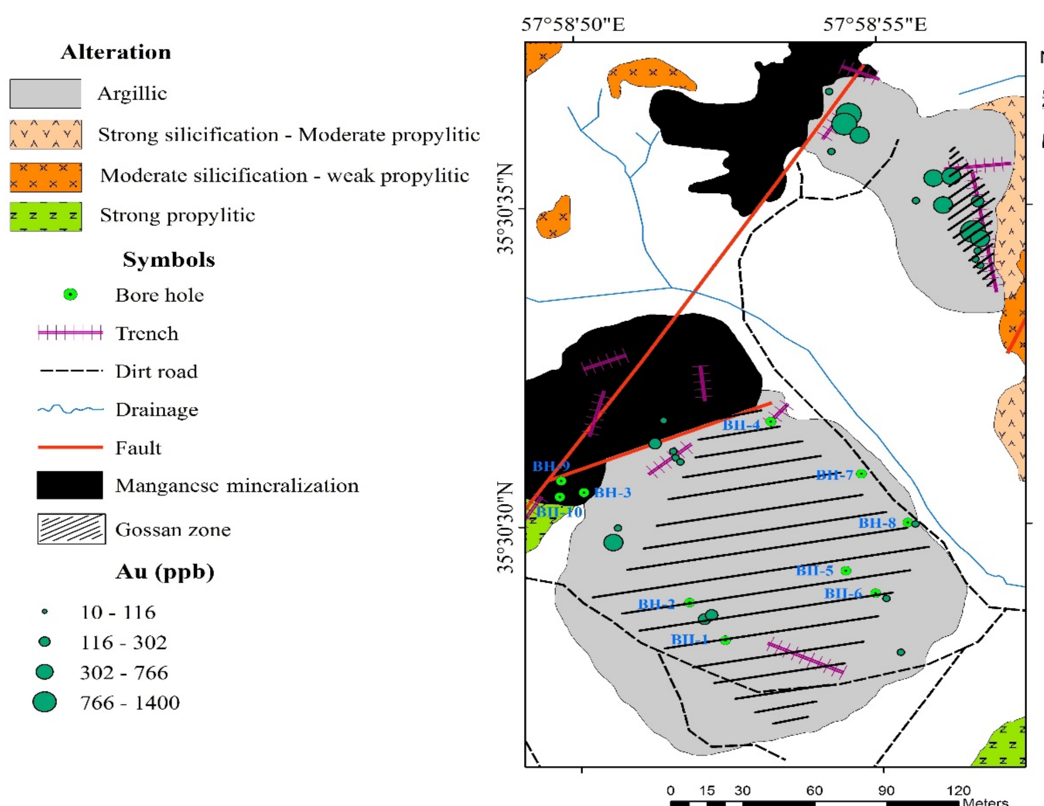
شکل ۶ توالی همبری کانی‌های فلزی و غیر فلزی در بخش طلادار منطقه بیجورد.

جدول ۱ نتایج تجزیه نمونه‌ها به روش ICP-OES.

نمونه‌های برداشت شده از رخنمون‌های سطحی														
شماره نمونه		طول جفرافیایی			عرض جغرافیایی			Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	As (ppm)	Mo (ppm)	S (ppm)	Ag (%)
		درجه	دقیقه	ثانیه	درجه	دقیقه	ثانیه							
Ch-10		۳۵	۳۰	۳۶.۷۹	۵۷	۵۸	۵۴.۱۴	۱۹۰	۱۸	۲٪٫۲۹	۲۱٫۲	۰٫۶۴	۰٪٫۲۶	۲٫۲
Ch-15		۳۵	۳۰	۳۵.۴۲	۵۷	۵۸	۵۵.۹۱	۱۶۲	۱۸	۱۰۲	۸۱٫۵	۰٫۹۷	۰٪٫۴۶	۲٫۱
Ch-24		۳۵	۳۰	۲۸.۵۳	۵۷	۵۸	۵۱.۹۷	۲۰۵	۲۱	۲۶۰	<۱۰۰	۱۶٫۱	۰٪٫۰۳	۰٫۲۸
Ch-38		۳۵	۳۰	۳۱.۶۶	۵۷	۵۸	۵۱.۳۴	۴۴۷	۶۷	۹۷۲	۸۸٫۸	۱٫۰۱	۰٪٫۰۹	۰٫۲۳
نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده از گمانه‌های پودری اکتشافی بر حسب (PPM) و درصد														
شماره نمونه	عمق (متر)	طول جفرافیایی			عرض جغرافیایی			Zn (ppm)	Pb (ppm)	Cu (ppm)	As (ppm)	Mo (ppm)	S (ppm)	Ag (%)
		درجه	دقیقه	ثانیه	درجه	دقیقه	ثانیه							
G5	33-36	۳۵	۳۰	۳۸.۶۰	۵۷	۵۸	۵۲.۰۹	۴۲۸	۴۵	۱۵۷	۶۶٫۹	۲٫۵	۲٪٫۳۶	۰٫۳۳
G6	15-18	۳۵	۳۰	۲۸.۸۳	۵۷	۵۸	۵۴.۹۹	۴۹۵	۲۳	۱۱۰	۳۵٫۳	۰٫۹	۲٪٫۴۷	۰٫۲۹
G8	24-27	۳۵	۳۰	۳۰.۰۰	۵۷	۵۸	۵۵.۴۸	۲۵۹	۳۶	۸۸	۲۱٫۶	۰٫۶۵	۰٪٫۸۱	۰٫۵
G8	45-48	۳۵	۳۰	۳۰.۰۰	۵۷	۵۸	۵۵.۴۸	۴۵۲	۲۴	۱۲۳	۲۴٫۶	۰٫۸۳	۲٪٫۳۶	۰٫۹

جدول ۲ نتایج تجزیه ۴۰ نمونه خرده‌سنگی برای طلا.

شماره نمونه	طول جغرافیایی			عرض جغرافیایی			Au (ppb)
	درجه	دقیقه	ثانیه	درجه	دقیقه	ثانیه	
Ch-10	۳۵	۳۰	۳۶.۷۹	۵۷	۵۸	۵۴.۱۴	۹۷
Ch-15	۳۵	۳۰	۳۵.۴۲	۵۷	۵۸	۵۵.۹۱	۳۰۲
Ch-24	۳۵	۳۰	۲۸.۵۳	۵۷	۵۸	۵۱.۹۷	۲۶۵
Ch-38	۳۵	۳۰	۳۱.۶۶	۵۷	۵۸	۵۱.۳۴	۲۰
G5-33-36	۳۵	۳۰	۳۸.۶۰	۵۷	۵۸	۵۲.۰۹	۱۷۹
G6-15-18	۳۵	۳۰	۲۸.۸۳	۵۷	۵۸	۵۴.۹۹	۴۱
G8-24-27	۳۵	۳۰	۳۰.۰۰	۵۷	۵۸	۵۵.۴۸	۸۰
G8-45-48	۳۵	۳۰	۳۰.۰۰	۵۷	۵۸	۵۵.۴۸	۲۹
Ksb-98-1	۳۵	۳۰	۳۴.۵۷	۵۷	۵۸	۵۶.۴۹	۱۴۰۰
Ksb-98-2	۳۵	۳۰	۳۴.۹۹	۵۷	۵۸	۵۵.۹۸	۷۰۰
Ksb-98-4	۳۵	۳۰	۳۵.۴۲	۵۷	۵۸	۵۵.۹۳	۵۰۰
Ksb-98-6	۳۵	۳۰	۳۶.۴۳	۵۷	۵۸	۵۴.۴۵	۱۰۰۰
Ksb-98-7	۳۵	۳۰	۳۶.۲۷	۵۷	۵۸	۵۴.۳۷	۵۰۰
Ksb-98-8	۳۵	۳۰	۳۶.۲۷	۵۷	۵۸	۵۴.۳۷	۶۰۰
Ksb-98-9	۳۵	۳۰	۳۶.۲۷	۵۷	۵۸	۵۴.۳۷	۱۰۰۰
Ksb-98-10	۳۵	۳۰	۳۶.۰۸	۵۷	۵۸	۵۴.۶۰	۱۰۰
Ksb-98-11	۳۵	۳۰	۳۶.۰۸	۵۷	۵۸	۵۴.۶۰	۵۰۰
Ksb-98-12	۳۵	۳۰	۳۶.۱۷	۵۷	۵۸	۵۴.۶۵	<۱۰۰
Ksb-98-13	۳۵	۳۰	۳۵.۰۶	۵۷	۵۸	۵۵.۵۵	۱۰۰
Ksb-98-14	۳۵	۳۰	۳۱.۲۷	۵۷	۵۸	۵۱.۱۷	۲۰۰
Ksb-98-15	۳۵	۳۰	۳۱.۲۷	۵۷	۵۸	۵۱.۱۷	<۱۰۰
Ksb-98-16	۳۵	۳۰	۳۱.۲۷	۵۷	۵۸	۵۱.۱۷	۲۰۰
Ksb-98-17	۳۵	۳۰	۳۵.۴۲	۵۷	۵۸	۵۵.۸۳	۵۰۰
G1-36-39	۳۵	۳۰	۲۸.۶۰	۵۷	۵۸	۵۲.۰۹	۲۴۰
60687-TRN9/1	۳۵	۳۰	۳۴.۰۵	۵۷	۵۸	۵۶.۶۰	۵۰
60668-TRN9/3	۳۵	۳۰	۳۴.۱۵	۵۷	۵۸	۵۹.۵۳	۱۱۶
60669-TRN9/5	۳۵	۳۰	۳۴.۲۸	۵۷	۵۸	۵۶.۵۷	۸۶
60672-TRN9/7	۳۵	۳۰	۳۴.۴۷	۵۷	۵۸	۵۶.۶۱	۴۶۶
60682-TRN9/8	۳۵	۳۰	۳۵.۰۵	۵۷	۵۸	۵۶.۵۸	۲۸۱
60692-TRN5/3	۳۵	۳۰	۳۵.۰۵	۵۷	۵۸	۵۶.۵۸	۲۲۱
60680-TRN7/1	۳۵	۳۰	۲۹.۹۷	۵۷	۵۸	۵۰.۵۶	۱۰
60671-TRN7/2	۳۵	۳۰	۲۹.۷۵	۵۷	۵۸	۵۰.۴۸	۷۶۶
60678-TRN3	۳۵	۳۰	۳۵.۸۵	۵۷	۵۸	۵۴.۱۷	۱۲
60683-TRN11	۳۵	۳۰	۳۵.۴۵	۵۷	۵۸	۵۶.۱۵	۶۱۰
60674-TRN5/1	۳۵	۳۰	۲۷.۸۹	۵۷	۵۸	۵۵.۳۴	۹۶
60673-TRN5/2	۳۵	۳۰	۲۷.۹۹	۵۷	۵۸	۵۵.۲۲	۲۰
60675-TRN5/4	۳۵	۳۰	۲۷.۹۹	۵۷	۵۸	۵۵.۲۲	۱۷
60685-TRN6/1	۳۵	۳۰	۳۱.۱۷	۵۷	۵۸	۵۱.۴۹	۷۳
60686TRN6/2	۳۵	۳۰	۳۱.۰۷	۵۷	۵۸	۵۱.۵۳	۵۹
60688-TRN6/3	۳۵	۳۰	۳۱.۰۰	۵۷	۵۸	۵۱.۶۱	۴۵



شکل ۷ نقشه دگرسانی-کانی‌سازی و محل گمانه‌ها همراه با مقادیر زمین‌شیمیایی میانگین طلا در نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده از ترانشه‌ها در منطقه بیجورد.

بحث

ویژگی‌های منطقه اکتشافی طلا-منگنز فراگرمایی بیجورد در جدول ۳ آورده شده و با مشخصه‌های سایر کانسارهای طلای فراگرمایی، با درجه سولفیدشدگی بالا، متوسط و پایین مقایسه شده است [۲۷-۳۱].

از نظر جایگاه زمین‌ساختی، کانسارهای طلای فرگرمایی با درجه سولفیدشدگی بالا در کرانه کمان‌های قاره‌ای کششی و فشارشی تشکیل می‌شوند. کانسارهای طلای فراگرمایی با درجه سولفیدشدگی متوسط در جزایر کمانی کششی و پهنه‌های گسترش قاره‌ای و کانسارهای طلای فراگرمایی با درجه سولفیدشدگی پایین در محیط‌های کششی قاره‌ای، جزایر کمانی و محیط‌های کششی پس از برخورد تشکیل می‌شوند [۲۷-۳۱]. جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی میزبان منطقه بیجورد محیط کششی کافت پشت کمانی بیان شده است [۱۳].

در کانسارهای طلای فراگرمایی با درجه سولفیدشدگی بالا، سنگ میزبان کانی‌سازی واحدهای آتشفشانی (آندزیت و ریوداسیت) به شکل گدازه، آذرآواری‌ها و واحدهای نیمه عمیق پورفیری است. در کانسارهای فراگرمایی با درجه سولفیدشدگی متوسط، سنگ میزبان کانی‌سازی واحدهای آتشفشانی (تراکی آندزیت، ریوداسیت و ریولیت) به شکل گدازه، آذرآواری‌ها و واحدهای رسوبی بوده و در کانسارهای فراگرمایی با درجه سولفیدشدگی پایین، سنگ میزبان کانی‌سازی واحدهای آتشفشانی (بازالت، آندزیت و ریولیت) به شکل گنبدی، واحدهای رسوبی و آذرآواری است [۲۷-۳۱]. سنگ میزبان کانی‌سازی در منطقه اکتشافی بیجورد واحدهای آتشفشانی (آندزیت) و واحدهای رسوبی است.

شکل کانی‌سازی در کانسارهای فراگرمایی با سولفید بالا جانشینی، برشی، رگه‌ای و توده‌ای است در حالی که در کانسارهای با سولفید متوسط، رگه- رگچه‌ای، برشی، داربستی و دانه پراکنده است. در کانسارهای فراگرمایی با سولفید پایین، شکل کانی‌سازی رگه‌ای، داربستی، برشی و دانه پراکنده است [۲۷-۳۱]. شکل کانی‌سازی در منطقه اکتشافی بیجورد رگه-رگچه‌ای و دانه پراکنده است.

جدول ۳ مقایسه مشخصه های انواع کانسارهای طلای فراگرمایی [۱۰ ، ۱۳، ۲۷- ۳۱] و ویژگی‌های کانسار بیجورد.

ویژگی‌ها	کانسارهای فراگرمایی سولفیدشدگی پایین	کانسارهای فراگرمایی سوفلیدشدگی متوسط	کانسارهای فراگرمایی سولفیدشدگی بالا	کانسار بیجورد
جایگاه زمین‌ساختی	محیط‌های کشش قاره‌ای، جزایر کمانی و محیط‌های کششی پس از برخورد	کمان‌های قاره‌ای و جزایر کمانی کششی	کرانه های کمان‌های قاره‌ای کششی و فشارشی	محیط کششی کافت (ریفت) پشت کمانی [۱۳]
سنگ میزبان	آتشفشانی، آذرآواری و واحدهای رسوبی	آتشفشانی، آذرآواری، واحدهای رسوبی و جریان‌های لاوایی	آتشفشانی، آذرآواری و واحدهای نیمه عمیق پورفیری	آتشفشانی آندزیتی و واحدهای رسوبی
سنگ‌های آذرین مربوط به کانی‌سازی	آهکی قلیایی ، ریولیت و بازالت	آهکی قلیایی ، آندزیت، تراکی‌آندزیت، ریوداسیت و به مقدار کم ریولیت	آهکی قلیایی، آندزیت و ریوداسیت	آهکی قلیایی و آندزیت [۱۰]
شکل و حالت کانی‌سازی	رگه‌ای، دانه پراکنده، برشی و داربستی	رگه-رگچه‌ای، دانه پراکنده، برشی و داربستی	جانشینی، رگه‌ای، برشی و توده‌ای	رگه – رگچه و دانه پراکنده
کانه‌ها	الکتروم، آکانتیت، آرژانتیت و سولفوسالت ها	الکتروم، آکانتیت، کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، گالن، سولفوسالت‌ها، سلنیدها و تلوریدها	انارژیت، بورنیت، کالکوپیریت، طلای آزاد، پیریت و اسفالریت	کالکوپیریت و پیریت
دگرسانی	ایلیت، کوارتز و آدولاریا	کوارتز و سرسیت و آرژیلی	کوارتز حفره‌دار، آلونیت، آرژیلی پیشرفته	سیلیسی و آرژیلی
ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی	طلا و نقره (استیبنیت، جیوه، مس، سرب و روی)	طلا، نقره، مس، سرب و روی (استیبنیت، آرسنیک، مولیبدن و جیوه)	مس، طلا و نقره (آرسنیک، بیسموت، تنگستن و قلع)	طلا ، مس، روی و آرسنیک

کانه‌ها: کانه‌های اصلی در کانسارهای فراگرمایی با سولفید بالا انارژیت، بورنیت، کالکوپیریت، طلای آزاد، پیریت و اسفالریت هستند. در کانسارهای با سولفید متوسط، کانه‌های اصلی شامل آکانتیت، کالکوپیریت، الکتروم، سولفوسالت‌ها، اسفالریت،گالن، پیریت، سلنیدها و تلوریدها و در کانسارهای با سولفید پایین آکانتیت، آلکتروم، آرژانتیت و سولفوسالت‌ها هستند [۲۷-۳۱]. کانه‌های اصلی منطقه بیجورد پیریت و کالکوپیریت هستند و هیچ یک از کانی‌های شاخص سولفید شدگی بالا چون انارژیت و بورنیت و با سولفید پایین چون آرژانتیت در منطقه دیده نشدند.

دگرسانی در کانسارهای با درجه سولفید شدگی بالا آرژیلی پیشرفته همراه با کانی‌های آلونیت و سیلیس حفره‌دار است. در کانسارهای با سولفید متوسط، این کانی‌ها شامل سرسیت و کوارتز و در نوع با سولفید پایین آدولاریا، کوارتز و ایلیت هستند [۲۷-۳۱]. دگرسانی‌های رخ داده در منطقه مورد بررسی سیلیسی و آرژیلی هستند که مشابه با کانسارهای با سولفید متوسط است.

از نظر ناهنجاری‌های زمین شیمیایی، کانسارهای فراگرمایی با سولفید بالا ناهنجاری‌هایی از عناصر مس، طلا، نقره، آرسنیک، سرب، روی، قلع، تنگستن و بیسموت دارند. در کانسارهای با سولفید متوسط، این ناهنجاری‌ها شامل عناصر طلا، جیوه، آرسنیک، مولیبدن، روی، نقره، مس، سرب و آنتیموان هستند. در کانسارهای با سولفید پایین، ناهنجاری عناصر مولیبدن، جیوه، طلا، نقره، مس، سرب، روی و آنتیموان دیده می‌شود [۲۷-۳۱]. بر پایه نتایج تجزیه نمونه‌های خرده‌سنگی در منطقه اکتشافی بیجورد، عناصر طلا، مس، روی و آرسنیک حضور دارند.

در مجموع بر اساس شواهد بیان شده در جدول ۳ چون جایگاه زمین‌شناختی، سنگ میزبان، سنگ‌های آذرین در ارتباط با کانی‌سازی، نوع دگرسانی‌ها، ناهنجاری‌های زمین شیمیایی و شکل و حالت کانی‌سازی، منطقه اکتشافی بیجورد یک کانسار فراگرمایی با سولفید متوسط است که به احتمال بسیار در اثر محلول‌های گرمابی برآمده از فعالیت‌های ماگمایی سنوزوئیک شکل گرفته است.

مشابه مدل کانی‌سازی بیجورد (طلای فراگرمایی با سولفید متوسط)، کانسار طلای سه بندون [۷] در ۴۰ کیلومتری شمال بردسکن و فاصله هوایی ۳ کیلومتری شمال شرقی بیجورد و کانسار طلای دامن قر [۱۲] در ۱۸ کیلومتری شمال بردسکن و

فاصله هوایی ۸٫۵ کیلومتری جنوب بیجورد نیز معرفی شده‌اند. به احتمال بسیار خاستگاه کانی‌سازی بیجورد نیز مانند کانسار سه بندون وابسته به توده‌های نفوذی نیمه عمیق سنوزوئیک است [۷]. همچنین در منطقه دامن قر نیز، به احتمال بسیار توده‌های نفوذی نیمه عمیقی وجود دارند که در سازند تکنار نفوذ کرده و به عنوان موتور گرمایی سبب کانی‌سازی شده‌اند [۱۲].

برداشت

بیشتر ذخایر طلای کشور از ذخایر طلای فراگرمایی هستند. منطقه اکتشافی طلای فراگرمایی بیجورد در ارتباط با مجموعه ماگمایی تشکیل شده است. این کانسار به احتمال بسیار مانند کانسارهای سه‌بندون و دامن قر در اثر جایگیری توده‌های نفوذی نیمه عمیق غنی از عناصر فلزی در نزدیکی سطح تشکیل شده است. طلای فراگرمایی بیجورد بر اساس شواهد زمین‌ساختی، سنگ میزبان، نوع دگرسانی، نوع کانه‌ها و عناصر فلزی و نبود کانی‌های شاخص سولفید بالا چون کوارتز حفره‌دار، انارژیت و بورنیت و کانی‌های شاخص با سولفید پایین چون کوارتز کلسدونی و آرژانتیت و ...، یک کانسار طلای فراگرمایی سولفیدشدگی متوسط است. وجود کانسارهای طلای فراگرمایی با سولفید متوسط بیجورد، سه‌بندون و دامن قر در شمال بردسکن نشان دهنده پتانسیل بالای این منطقه برای پی جویی طلاست که بر اثر فعالیت‌های ماگمایی – گرمابی جوان ترشیری به وجود آمده‌اند. منطقه شمال بردسکن با زمین ساخت فعال و وجود شکستگی‌های بسیار، همراه با فعالیت‌های ماگمایی ترشیری و نفوذ توده‌های نفوذی نیمه عمیق که به عنوان موتور گرمایی عمل می‌کنند، یک منطقه مستعد برای پی جویی ذخایر فلزی مختلف است.

قدردانی

این پژوهش با پشتیبانی مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۳٫۵۱۷۴۳ انجام شده است. نگارندگان از آقای مهندس علی تنها برای معرفی منطقه مورد بررسی و از آقایان جواد صاحبی و امین میری برای برداشت نمونه‌ها سپاس گزارند.

مراجع

[1] Richards J. P., Sholeh, A., *"The Tethyan tectonic history and Cu-Au metallogeny of Iran"*. Economic Geology, Special Publication 19 (2016) 193–212.

[2] Richards J. P., *"Tectonic, magmatic and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: From subduction to collision"*. Ore Geology Reviews, 70 (2015) 323–345.

[3] Shojaat B., Hassanipak A. A., Mobasher K., Ghazi A.M., *"Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite, northcentral Iran"*. Journal of Asian Earth Sciences, 21 (2003) 1053–1067.

[4] Shafaii Moghadam H., Stern, R.J., *"Ophiolites of Iran: Keys to understanding the tectonic evolution of SW Asia: (II) Mesozoicophiolites"*. Journal of Asian Earth Science, 100 (2015) 31–59.

[5] Shafaii Moghadam H., Stern R.J., Corfu F., Chiaradia M., Ghorbani G., *"Sabzevar Ophiolite, NE Iran: Progress from embryonicoceanic lithosphere into magmatic arc constrained by new isotopic and geochemical data"*. Lithos, (2014) 224–241.

[6] Ashraf poor E., Alirezaei S., Ansedel K., *"Ore geology and fluid inclusion studies of Arghash gold prospect, Southwest Neyshabour, Northeast Iran (in Persian)"*. Journal of Geosciences, 18(71) (2009) 129-136.

[7] Hammami pour B., Tajeddin H,A., Bahremand L., *"Geology and mineralization of Sebandoon gold deposit, North of Bardaskan (in Persian)"*. Journal of Geosciences, 27(108) (2018) 155-168.

[8] Jiangxi Exploration Co., *"Explanatory text of geochemical map of Shamkan (7760), Stream sediment survey 1:100000"*. Report No 22 (1994) China.

[9] Alavi M., *"Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations"*. Tectonophysics, 229 (1994) 211-238.

[10] Jafarian, M, B., Jalali, A., *"Geological map of Sheshtamad, Scale 1:100000 (in Persian)"*. Geological Survey of Iran, (2000).

[11] Hashemi M., Rassa A., Noghreyan M., *"The genesis of the gold mineralization in the Northern zone of Bardaskan, Khorasan Razavi (in Persian) "*. Journal of Earth and References, 3(2) (2010) 69-81.

[12] Abbasnia H., Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., *"Damanghor intermediate sulfidation Epitermal Au mineralization, Northern Bardaskan, geology, alteration, mineralization and geochemistry (in Persian)"*. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 27(3) (2019) 621-634.

[13] Rosseti F., Nasrabadi M., Vignaroli G., Theye T., Gerdes A., Razavi M., Moein Vaziri, H., *"Early*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.4.8]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.43]

Journal of Crystallography and Mineralogy, 20(2) (2012) 229-240.

[23] Fatehi H., *"Geology, mineralization, andgeochemistry of Jalambadan prospect area, NW Sabzevar"*, Ms.C thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad (2013) 240p.

[24] Malekzadeh Shafaroudi A., Etemadi A., *"Geology, alteration, mineralogy and geochemistry of Cheshmeh Zagh Cu±Au occurrence, Khorasan Razavi province: probably evidence of volcanic massive sulfide mineralization (in Persian)"*. Iranaian Journal of Crystallography and Mineralogy, 28(3) (2020) 541-556.

[25] Zaree A., Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M. H., *"Khanlogh magnetite-apetite deposit, NW Neyshabour: Mineralogy, structure and texture, alteration, and determination of model (in Persian)"*. Iranaian Journal of Crystallography and Mineralogy, 24(1) (2016) 131-144.

[26] Whitney D .L., Evans B. W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*. American Mineralogist, 95(1) (2010) 185-187

[27] Gemmell J.B., *"Low- and intermediate sulfidation epithermal deposits"*, In: Cooke D.R., Deyell C.L., Pongratz J., (eds.)*" 24 Carat Gold Workshop"*: Centre for Ore Deposit Research, Special Publication (2004)5:57- 63.

[28] Hedenquist J. W., Sillitoe R.H., Arribas A., *"Characteristics of and exploration for highsulfidation epithermal Au-Cu deposits"*.In: Cooke D R., Deyell C. L., Pongratz J., (eds.) *"24 Carat Gold Workshop"*: Centre for Ore Deposit Research, Special Publication,)(2004) 99-110.

[29] Hedenquist J.W., Arribas J.A., Gonzalez-Urein E., *"Exploration for epithermal gold deposits"*. Society of Economic Geologists Review, 13 (2000) 245-277.

[30] Sillitoe R. H., Hedenquist J. W., *"Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal depositsin:* S.F. Simmons, I. Graham, (Eds.), *Volcanic, geothermal, and ore-forming fuids:rulers and witnesses of processes with the earth"*. Special publication No 10, Society of Economic Geologists, (2003) 315-345.

[31] Simmon S. F., White N. C., John D. A., *"Geological characteristics of epithermal precious and base-metal deposits"*. Economic Geology, 100th Anniversary Vol., 5 (2005) 485-522.

Certaceous migmatitic mafic granulites from the Sabzevar range (NE Iran) : implications for the closure of the Mesozoic peri- Tethyan oceans in central Iran". Terra Nova, 22 (2010)26-34.

[14] Vatanpour H.R., Khakzad A., Ghaderi M., *"Application of PGE in exploration and economic evaluation of Sabzevar ophiolitic belt for choromite deposits (in Persian) "*. Journal of Geosciences, 18(71) (2009) 9-12.

[15] Ghorbani M., *"Introduction to Economic geology of Iran"*. Geological Survey of Iran, (2002) 695 p.

[16] Shirzadi A., Masoudi F., Rahimzadeh B., *"Nature of Chromite Parent magma in Sabzevar ophiolite (North-East of Iran) (in Persian)"*. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 21(3) (2013) 49-58.

[17] Mazhari S.A., *"Distribution of platinum-group elements (PGE) in chromitites of Sabzevar, NE of Iran (in Persian) "*. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 27(1) (2019) 109-122.

[18] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Esfandiarpour A., Mohammadnejad H., *“Neyshabour Turquoise mine: The first Cu-Au-ULREE IOCG type in Iran (in Persian)”*. Iranian Journal of Economic Geology 3 (2012) 193-216.

[19] Entezari Harsini A., Mazaheri S.A., Saadat S., *“Petrography , mineralogy, alteration zones and geochemical exploration in Gholcheshmeh area, east of Iran (in Persian)”*. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 23(4) (2014) 639-650

[20] Ghomeshi S., *"Mineralogy, geochemistry, alteration, remote sensing, mineral processing and industrial applications of Zakeri manganese deposit (Southwest of Sabzevar")*. Ms.C thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad (2016) 145p.

[21]Shojaeizadeh Adgham Sh., Ebrahimi Nasrabadi Kh., Heydarian Shahri M. R., *"Estaj manganese, an example of volcano-sedimentary type manganese mineralization in the South of West Sabzevar (in Persian)"*. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 25(2)(2017) 411-426.

[22] Nouriasl F., Shamanian Gh. H, Shafiei B., Azimmohseni M., Jafari M., *"Epithermal antimony mineralization at Arghash district: mineralogy, alteration and geochemistry (in Persian)"*. Iranian